

鍾山學術講座第五種

# 地球之天體觀

張鈺哲著



# 鍾山學術講座

## 第一輯

執筆者

久膺講壇學有專長

三十六人

自民國二十二年國慶日起至民國二十三年九月底止 每旬刊行一冊

期數	書名	著者	出版月日
1.	東北失地之經濟概況	張其駒	二十二年十月十日
2.	四庫全書	鄭鶴聲	十月十日
3.	中日關係論	繆鳳林	十月十日
4.	軍事與氣象	朱炳海	十月十日
5.	目錄學	汪辟疆	十月十日
6.	地球之天體觀	張鈺哲	十月十日
7.	音樂與文學	盧前	十月十日
8.	印度思想史論	景昌極	十月十日
9.	希臘文化論	郭斌蘇	十月十日
10.	華漸史	范存忠	十月十日

期數	書名	著者	出版日期
19	航空之最近趨勢	錢昌祚	四月十日
20	照相化學	倪則垣	四月十日
21	播音入門	倪尙達	四月十日
22	短波無線電	王佐清	五月十日
23	中國儒家思想	錢穆	五月十日
24	散文通論	王	五月十日
25	中國		

18 17 16 15 14

人類演化之趨向	中國印刷術發明小史	中國封建制度考	中國地圖史綱	中國詩歌新論	法律與事實	世界經濟氣學	概觀
劉咸	向達	劉節	王庸	徐震堦	阮毅成	朱楔	胡煥庸
三月卅日	三月廿日	三月十日	二月卅日	二月廿日	二月十日	一月卅日	一月廿
36	35	34	33	32			
東北之民族	達爾文自傳	元素與原子	近代物理學	氣候			
凌純聲	張孟聞	張山樸	施肇基				
九月卅日	九月廿日	九月十日					

每冊字數三萬

定價二角

全年三十六冊

合售七元

預定全年五元六角

優待國風半月刊或方志月刊新舊定戶減收四元八角  
本講座並單獨單售以謀普及

國風半月刊 每冊一角 全年二元二角

方志月刊 每冊二角 全年二元二角

定閱處

南京城北牌樓秦巷口鍾山書局

# 東 北 經 濟 地 位 圖

張 其 昀 編 製

每 幅 定 價 一 角

南 京 鍾 山 書 局 出 版

是幅根據最新材料分繪十八圖表示  
東北四省在中國經濟上之地位並附  
有詳細說明書

是幅爲掛圖性質懸諸座右一目瞭然  
以紅色代表東北失地觀損失之浩大  
令人驚心動魄

# 目次

1. 天文地理
2. 開闢鴻濛
3. 幾閭滄桑
4. 輪廓外形
5. 問鼎輕重
6. 迴旋運轉
7. 潮汐餘波

# 地球之天體觀

張鈺哲著

## (I) 天文地理

天文是研究日月星辰的學問。地理是研究山川風土的學問。專等着銀漢耿耿，繁星滿天的時候，守在望遠鏡傍邊作各種觀察，這是天文家的工作。跋涉長途，到處測度山川形勢，調查風土人情，便是地學家的工作。他們似乎是分道揚鑣，各不相涉的。從前讚揚博學之士，總稱他上通天文，下曉地理。其意是把天文地理當作兩種極端不同的學科。若使一人胸中蘊蓄的智識，能遠被這兩端。那麼他對於宇宙間的一切，當然是無所不知了。其實這觀念是很不透澈。天文地理的分野，有時並不如此的清晰。普通動物和植物的分別，雖三尺童子，也能認識。但是談到下等的生物，他是屬動屬植；就是專家也很難加以斷定。天文地理的區分，尋常是非常的明顯。但是談到地球，他們研究的範圍，互相融和起來。因為地

球是研究天文的一個對象，同時却也是研究地理的一個對象。兩門不同學科，對於地球的探討，則有共同的陣線。由天文家看來，地球是九大行星之一。要曉得其他行星的情狀構造，當然先研究與我們最接近的這個行星，纔能收『以柯代柯，其則不遠』之效。用兵之道，貴能知己知彼。這個原則，對於天文也可應用。我們必須知道地球在那裏如何的運轉，然後才能對於日月星辰的行動得到真確的瞭解。所以地球的研究不但是天文學者分內應盡的職務，而且是亟須先決之基本問題。人文地理，直接所討論的問題，雖多是關於文化人事一方面。但仍然必須以自然地理和地質學作物質的背景。地球上氣候的變遷，山海的形成，潮汐的漲落，經緯的測定等等問題，一方面是屬於自然地理及地質學範圍之內。然而研究這些問題所用的方法，又非求助於天文不可。所以地球的研究，是天文地理兩種學問領域接壤的地方。

張其昀先生譬地球爲一大舞台。（一）地理所研究的，便是台上所表演之戲劇

。果然如此，則舞台變遷演化的歷史，舞台佈景的構造，和旋轉的機關，大概應當也是研究地上戲劇者所關心，不肯專讓以管窺天的學者單獨佔有罷。

## (2) 開闢鴻濛

『天地果有初乎』這個問題，古往今來，不知已經有過多少的答案了。佛家主不生不滅，說天地是無始無終的。柳子厚却能從封建制度裏看出天地是有初的。白香山的長恨歌有『天長地久有時盡，此恨綿綿無絕期』之句。依照這詩人的見解，天地不但有初，而且有終了。假若我們相信天地是無始無終，那便無所謂鴻濛開闢，可以省了許多問題。若天地果是有初，他是如何產生，到費一番的研究了。據耶教舊約創世紀所載，宇宙間一切，全是在六十年前左右，上帝於六日之間，一手造成的。我國舊說，(一)謂『女媧氏鍊五色石補天之缺，斷鼉之足以立』

(註一)竺可楨等譯新地學序

(註二)列子湯問第五



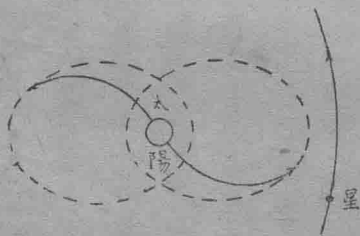
四極』。這些說法，都類似神話一流，我們當然不願置信。但是這種問題，荒遠難稽，不是可以用事實來證明的。所以雖然經過許多科學家的研究，對此問題，仍然是沒有十分確切的定論。但各種學說，迭代蛻變，能漸漸將不合理處刪除，使他與事實接近。這也是研究難以證實問題之唯一方法了。現在將關於地球誕生，最近的兩種假說，略述於下。

科學的地球誕生論和神話的地球誕生論，不同之點，便是一方根據事實作出發點，一方全憑幻想臆造。地球既是行星之一，他的誕生，和其他行星一定相同。法天文家拉伯拉司(Laplace)從太陽系各行星的情狀着想，於十八世紀末葉的時候，發表一個地球誕生的學說，稱作星雲假說。(三)這假說的根據就是天文觀測所得的事實。他看見許多行星繞着太陽奔走之趨向，全是一律。太陽地球和其他行星，都有自轉。不但這些自轉的方向是一致，而且和公轉的方向，也是相同。地

球有個月亮作他的拱衛。別的行星也有月亮作衛隊，數目比地球所有的還多些。這些月亮環繞行星的方向，和以上所說自轉公轉的方向，又皆雷同。假使其中沒有特別的原因，天下事決不能如此的湊巧。（行星月亮也有逆行的，但當拉伯拉司之世，尚未發現）。爲要窮究原因之所在，拉氏乃假設，在盤古的時代，太陽只是一個渾渾沌沌的星雲而已。這星雲一面轉一面縮。由於冷縮的緣故，星雲的轉動，便逐漸加疾，終至於使腰圍上的物質脫下一環來。據拉氏的推想，這環受外力的影響先成齋粉，以後又凝聚起來。一個行星，便如是產生，星雲本體，仍然繼續的冷縮。其他行星依次的誕生。最後剩下來星雲的本體，就是現在的太陽。那麼我們老家所在的這個行星，也便在乎天旋地轉之間，而哇哇墜地。

逆行衛星的發現，給星雲假說一個重大的打擊。根據力學的研究，在這種情形之下，破碎的環體，也決其不能凝聚成一個完整的行星。所以後來新假說便應運而生，取星雲假說而代之。這個關於地球產生的新說，是由於一、地質學家

一位天文學家共同倡始。我們曾說地理學和天文學，對於地球的探討，呈共同的陣線。這件事實便是我們新佐證了。這天文家是慕爾敦 (F.R. Moulton)，地學家便是張伯倫 (T.C. Chamberlain)。他們都是美國芝加哥大學的教授。在二十世紀的初年，他們推翻星雲的假說。(四)謂太陽系的構成，並不是太陽一手所能辦成。當初一定另有一星，行經太陽的附近。他的龐大吸力，可在太陽表面之前後引起兩道高潮。因為這鄰星對於太陽有摩肩而過的行動，所以被引起的高潮，除去昇降速度之外，還有橫行的速度。太陽所濺出的物質，運動的情形，大概略同附圖(圖一)裏所表示。等到客星遠離之後，太陽射出的物質或者有一部份被他吸走。一部份然仍回到太陽身上。大部份的碎塊，便循着軌道繞着太陽奔走。成



(圖一)

爲無數渺乎其小的行星，稱爲微星 (Planetesimals)。他對於太陽系的構成，具有很大的影響。因此這假說通常叫作微星假說。

這些無數微星的大小，當然各不相同。其中很大的，具強烈的吸力。當他穿過較小的微星羣裏，便逐漸併吞，增加到他自身的體重。行星構成的情形便是如此。由於母體微星巨細之不同，和穿行區域微星數量的多少，所以行星裏，就有像木星土星如彼其大；也就有像水星火星如此其小。降至現在，太陽系裏這些微星，還有否殘餘下來呢。有的。火木二星間的許多小行星，和構成黃道光現象的許多細粒，便是他們的遺跡。星雲假說中許多和力學互相矛盾的地方，在微星假說裏，幾可完全避免。因此我們現在都公認地球的誕生，是兩星邂逅的結晶，而非太陽分裂的產兒。

近來還有一種所謂潮汐學說，來解釋太陽系肇始的情形。按此新說，現在的行星也是太陽與別的恒星萍水相逢而產生者。關於這一點，和微星假說是全然一

致。但以後行星產生的情和步驟，略有不同。(五)

(3) 幾閭滄桑

地球如何產生的情形，微星學說總算能給我們一個最可徵信的觀念。但是從地球的凝聚一直到現在，其間到底經過多少歲月。我們要答覆這問題，必需從另一方面，努力探討。

鄰翁的高壽，只要很客氣的問一聲貴庚，便能得到答覆。這是探討歲數最簡單的辦法。但是這法子，對於不能言語的事物，則窮於應付了。譬如森林中婆婆老樹，我們假若要叩詢他的年齡，這方法是不能應用的。可是我們能將樹幹鋸斷，細數斷面上年輪的多少，以定那樹的年齡。其中原因，是由於我們知道兩種事實。一則斷面上輪紋增加的速率，二則斷面上輪紋的總數。再拿一個譬喻來說，設

註(五) Jeans' Problems of Cosmogony and Stellar Dynamics

有一壺，在着漏水。若是我們測定漏水的快慢，同時又見到漏出的水量，共有多少。那麼這壺已經漏了多少鐘點的水，一計算便可知道。這種測驗年齡的方法可統稱為銅壺滴漏法。搏搏大地，雖然不肯如鄰翁的坦白，道出自家年齡。但他並不能禁止滴漏法的應用，來估計他的歲數啊！

最初應用這方法來估計地球年齡的人，便是英國皇室天文家哈里(Halley)。他看那萬派朝宗，百川歸海的江河裏含有不少的鹽分。海洋的水，受太陽的蒸發，便雲騰致雨，又回到江河的源泉，返本歸根。而其中所含的鹽，却真是逝者如斯，長留海裏，一去不復返了。河淡海鹹的真因，一定就由於此。如果我們有個方法，能夠估計海洋中含鹽的總量，和每年世界上各河流送到海中的鹽份，那麼海洋的年齡，便不難屈指推算而得。哈氏很樂觀的發表一個議論，說世上一切壽命的問題，從此都可以迎刃而解了。

不幸哈氏的樂觀，於事并無大補。當他在1715年發表這議論的時候，每年百

川匯海的鹽分和海洋含鹽的總量，還未有較為可靠的統計。後來1899年喬萊(Jo-ly)教授又研究此問題。(六)不用鹽而用鈉作討論的基礎(鈉與綠氣化合便成鹽了)。他測出海水含鈉之量約為1.08%。因而估計海洋裏所有鈉之總量為一萬二千六百兆噸( $1.26 \times 10^{16}$ )。而每年由江河輸入海中之鈉約一百五十六兆噸( $1.56 \times 10^8$ )。按喬萊的計算，海洋的年齡約為八十一兆( $8.1 \times 10^7$ )年。但是這結果，很多地質學家不與贊同。因為地面的物質每年被江河沖入海裏的數量，是可以勘測出來的。依喬萊的數字，那麼這些物質合鈉之成分，一定要達百分之二，然後每年入海之鈉才能達 $1.26 \times 10^{16}$ 噸。可是事實上我們確知這些物質并不含許多鈉的成分。其中癥結所在，就是因為江河水，含鈉之量極微。分析起來，很容易把他的分量估得太高一些。

從地質學家的觀點，地球現在是正達到山脈構成和大陸崛起將了的時期。因

此陸上泥沙冲刷入海之量，自也特別增多。況且由於人類文化的發達，許多森林，都被砍伐。地面泥土，失去保障，格外容易被水流所冲走。還有田園的耕種，礦山的開掘，在在都加甚地面的剝削。由此看起來，眼前實在是泥沙歸海運動，特別活躍的時代。縱令現在我們能精詳測定每年由江河輸入海中鈉之含量。這個數量在多年以前，必定遠遜於此，是可以毫無疑義的。所以藉鹽分來推算海洋年齡，很難得精確的結果。其錯誤每是偏於太少的方面。

除去海水鹽分的研究，我們還可以在地層的冲積上應用這滴漏的原理，以估計地球的高壽。我們曉得世事的變幻無常，不特城郭宮殿，化作荒莽荆榛，便是峻嶺崇山，也會夷爲平原滄海。將英國三島各河，每年帶入海裏的泥沙統計起來，不下幾百萬噸。平均每三千年，三島地面要降低一呎。考古學者在埃及開掘，發現古代皇帝 *Ramesses II* 的故宮遺址。其上所堆積的土層，有六七呎之高。從這皇帝御宇至今有三千多年，所以該地一尺厚地層的冲積，需時只要四五百年。



但是北美洲地面降低，甚爲紆緩。要8600年之久，才消磨去一尺厚的地層。

地層變遷的快慢，從以上研究，可以得個概念。至於地層沖積的總量，從古迄今到底有多厚呢？根據Holmes教授的統計，註(七)各層的總厚如下

寒武紀	180,000 呎
古生紀	185,000
中生紀	91,000
近生紀	73,000
共	529,000 呎

假如地層增厚的迅率，爲每四千年一呎，那麼地層已往的歷史，就差不多有二十萬萬年( $2 \times 10^6$ )的悠久了。因爲地層增厚的速率，很難確定，所以由地層沖積而得的年齡，也同海水鹽份方法一樣的不可靠。

測定岩石年齡最好的方法，便是應用一種物理上質射的現象。當十九世紀的末葉，科學家發現鈾原質的化合物，有使攝影底片感光之效能。我們因此知道鈾原質具有放射之能。將純淨的鈾藏起來，經久之後，其中便產生出一種的新原質，其名爲銑。所以銑原質便是鈾原質放射後的化身。但是銑原質本身的放射，比鈾尤爲猛烈。銑放射後的化身，爲何，是很值得研究的問題。銑原質最後的化身，雖然至今還不曾用實驗找出來。可是鈾礦裏總是同時含有銑鉛兩原質，而此鉛的原子量，較尋常的鉛特別的輕。從這種種情形推測起來，我們斷定銑經過長期放射之後，其最終的歸宿，就是原子量特小的鉛。（尋常的鉛原子量爲207，銑鉛的原子量爲206）。再從鈾礦中所含銑鉛之量，我們可以算得每百份的鈾，經過六千六百萬年（ $6.6 \times 10^6$ ）之久，可以有一份完全變成鉛質。

世界各處所產的鈾礦，含鉛的百份率亦各不相同。少者不到百分之一，多者或達百分之二十。含鉛份量的多少和鈾礦所處的岩層有密切的關係。假若當岩石

凝成的時候，鈾質被他包圍在內，而當時并不含鉛。那麼現在鈾礦之鉛，必全由鈾質因放射退化而產生。於是從鈾礦裏鉛的含量，岩石的年齡，可以計得。按此方法，寒武紀最下層岩石之年齡約在十二萬萬年與十三萬萬年之間 ( $1.2 \times 10^9 - 1.3 \times 10^9$ )。也有人估計地殼本身所含鈾和鉛的總量，來算地殼的年齡。所得結果是八十萬萬年 ( $8 \times 10^8$ )。但是地上的鉛，有一部是自然生來，并不是從鈾原質之退化而產生。所以這數目難免稍大。祇可看作地球年齡的一個最高限度。

我們必需知道最古岩石的壽命，還比不上海洋的壽命。因為這些岩石，常存在於水成岩的沖積層裏。所以上文中十二萬萬年的數目，也只可視為地球年齡的一個是低限度。如果我們將四十萬萬年 ( $4 \times 10^8$ ) 認作地球的壽命，與事實大概可以相去無幾了。註(八)

不過這裏所稱為地球壽命的意義，實在是指從地殼凝成以至現在其中所經過

的歲月。但是當地球最初脫離太陽的時候，因為溫度之高，一定是個氣體。從氣體化成固體，也必定要度過液化的階級。若使我們把地球的氣體液體時期的歷史，加入到他的固體時期而計，那麼地球的年齡應當增加多少呢。實際上地球的氣體和液體的歷史是非常的短促。根據熱量散失的計算，註(七)地球從產生逮液化，其間不過5000年從液化到對流性停止而呈凝固的現象，也不過10,000年。所以地球凝固以前的歲月與凝固以後的年齡，比較起來，渺乎其小，殊無一顧之價值。

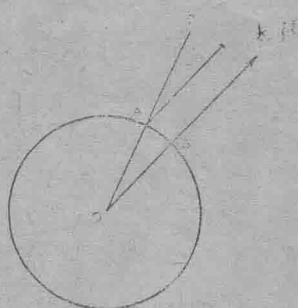
#### (4) 輪廓外形

從直覺看起來，地成平面，天如覆盆。古來所以有天圓地方之說，也就是拿直覺所感的現象，當作事實了。但是我們有許多的經驗，都是和地平學說相抵觸。最普通的便是在海面四望，可見水天相接的地方，成個圓形。遠離的帆船，船

註(九) H. Jefferys 著 The Earth P. 76

身首先不見，然後帆船才冉冉地沒落於水平之下。還有向北方旅行的人，可以見到北辰在於天空的位置，漸漸上昇。月蝕現象，是萬目同時共觀的。可是西方的人，假若是在太陽未落之前看見。東方的人看見這月蝕，就必在太陽既落之後。月蝕的時候，映於月面地影的邊緣，恆作曲線之狀。凡此一切現象，古人早已見到。所以在西元前六世紀的時就有哲學家如 *Pythagoras* 等倡地作球形之說。世人對於地圓學說，懷疑最甚者，大概有兩點，第一點是若地作球形，那麼，何物支持之，使他懸浮空際而不下墮呢。第二點便是處於地球上與我們正相反對那一面的居民，豈不是要終日倒懸，而有離開地球下墮的危險嗎。但是這個懷疑，都是根源於不知所謂上下的真正意義而起。實際我們平常所謂向下者，乃指地心吸力的方向；所謂向上者，乃指與地心吸力相背之方向。離開地球，便無所謂上下。所以地球在空間既無所謂下，自然不墮了。關於地圓的懷疑，明了此點，便可迎刃而解。到十五世紀末葉，哥崙布環行地球之後，地圓之理，乃漸漸的家喻戶曉。

既然曉得地作球形，這球形的半徑，到底是幾多長，當然是我們跟着就要解決的問題了。註(十)在西元前二百多年的時候Eratosthenes已經得到一個很圓滿



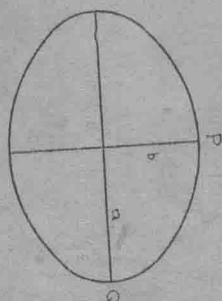
(圖二)

的答覆。他知道一年裏夏至那天午時在Alexandria地方太陽和天頂相距差不多是 $70^{\circ}$ ，(或者一圓周五十分之一)。但是該城正南Syene地方，當夏至午時井裏沒有影子。可見彼時太陽是正在天頂。從此可知Alexandria和Syene間之距離是約為地球一周五十分之一。這上古測量的結果，與現代所得的數目，相差不多，實是難能可貴的。自茲以後，直到十七世紀，英法二國，才有人用精密的方法，來重新測度地球之半徑註(十一)

註(十) Berry 著、A History of Astronomy P.37

註(十一) , , , , , P.204

但是地球果然是個正確的球形嗎。當十七世紀地球表面上各處所作擺動週期的實驗，已表示地球并非正球形。註(十二)。牛頓和海芹斯二人，曾設想假若地球內部有兩管相連通。一管是由北極達地心。一管是由地心達赤道。他們說，如果以水裝滿管裏，而該管隨着地球轉動。那地軸方向管中的水柱必定要比赤道方向管中的水柱爲短。因地軸方向管中的水，所受之力，只是地心吸力。而赤道方向管中的水，所受之力，乃是地心吸力及離心力之差，所以需要較長的水柱，以與



$$\text{距離} = \frac{a-b}{a}$$

(圖三)

地軸方向水柱相平衡。牛頓假設水點所感之吸力與地心之距離成正比。因此乃得

地球之扁率爲  $\frac{1}{230}$ 。海芹斯假設水點所感之吸力與地心距離之平方成反比，所得扁率之值爲  $\frac{1}{578}$ 。其實牛頓的假設，等於承認地球內部之密度是均勻的。而海芹斯的假設等於以地球內部之密度係與地心距離成反比，即地心之密度爲無限大，趨向地面則密度漸次減小。我們現在知道地球的密度，并非均勻，乃是地心大而地面小，但是地心密度無論如何，也決不會達到無限大的境界。所以按理論而言，地球實際上是一橢球。他的縱斷面之扁率，應當是位於  $\frac{1}{230}$  與  $\frac{1}{578}$  之間。

若使地作橢球形之說，果是事實，那麼通過地軸的縱切面，一定成橢圓狀。赤道附近彎曲的程度，較兩極附近爲甚。因此在赤道附近，向北旅行，使天頂向北極移近」。我們所須走的路程較短。而在近於北極的地方，要見到同樣的現象，我們必須向北行走較遠的路程。但是在十八世紀初年，Cassini 公佈他測量的結果說在法國北部緯度相差一度間的距離，較法國南部緯度相差一度間之距離爲短。因此有些天文學者便主張地球在兩極的方向，稍爲延長。地球實呈橢橢之形



，而不作桔子之狀。Cassini 的觀測和牛頓的理論決不相容。就是孰非，不能不辨。所以法國學會當時便派出兩測量隊去測定緯度相差一度之兩地間的距離。一隊赴南美之祕魯，一隊赴歐陸極北之Lapland。這次測量所得的結果，充分表現Lapland緯度一度之長較Peru緯度一度之長，超過百分之一。牛頓橢球的理論於以完全成立。倡說橢球狀地球之天文家，實是被Cassini錯誤之觀測所賣。後來世界各國，沿子午線方向，常有作長距離的測量。最長者有北歐中歐北美各弧。屢次測得的結果，都可證明地形是作橢球狀。現在萬國公用的關於地球之大小和形狀的數目如下。註(十三)

赤道半徑.....6378.389公里

扁圓率..... $1/297=0.003367$

地球形狀之決定法，除去應用大地測量之外，還可從地面各處重力加速度的

註(十三) W. D. Lambert, Science卷63, P.242

變更而求出。這方法在南半球作測量時，尤爲有用。因爲北半球多大陸，便於測量的工作。而南半球之大部份是海，不便測量，祇可利用特種的擺，在船中或島上作重力的測驗。太陰行動的觀察，也可利用於地球形狀的測定。因爲地球既不是圓球形，太陰地球間的引力，不是時常通過地球的中心。地球赤道隆起的部份，對於太陰行動，有特殊的影響。所翻過來計算，我們可以從太陰的行動，測得地球赤道隆起之情形，因而曉得地球的形狀。從重力和月離而得的地球扁圓率，與大地測量所得的，相差無幾，很足以互相印證。

將一橢圓繞着他的最短軸，旋轉一周，所得的形狀，便是旋轉橢球。其實各種地形測量的結果，和旋轉橢球，并不能十三分的吻合。由實測重力所得的地球形(Geoid)和旋轉橢球，相差最甚時可以達100米突。

地面上佈滿佈高山深谷，兩極扁而赤道寬，我們或者感覺得他實在與粗麻橘子的外觀，略爲相似。稱之爲地球，不甚恰當。但是假若我們做一個直徑九寸的

地球模型，他的長短直徑之之差不過 $\frac{1}{32}$ 吋。高山的突起或海底的深陷，更是微小，不過 $\frac{1}{150}$ 寸左右。無論什麼足球籃球，恐怕都還趕不上他的圓轉光滑呢。所以平常講起來，地之爲球，是毫無疑義的。

(5) 問鼎輕重

地球的重量，是不能夠用平常的方法來權衡的。其中的一個原因，固然是因爲我們無從覓得這種的大秤去稱他。就令有此大秤，地球還是無重可稱。這就是由於上文所說的緣故，地球位於空中，並無上下之分。他並不對於任何方向沉壓下去。假使我們一定要照平常的手續來測地球的重量，唯一的方法，或者就是將地球分成無數碎塊。然後把每塊陸續拿出來稱，完了再放歸原處。等所有的碎塊都稱過之後，把各個重量，總加起來，便可得地球的全重了。當然的此法只是理想的，決不能見諸實行。

拿一個物體，用簧秤權他的重量，我們可以見到這物體的重量，在赤道是比南

北極附近爲輕。在高山上的重量也比在平地爲輕。可見物體的重量是隨位置而有改變。實際上重量便是地球對於物體的吸力。吸力的大小，隨着兩體間之距離爲轉移。所以物體的重量，跟着他的位置而起變化。但是一個物體裏所包含的物質，決其不會因位置改換而生變化。物體裏所含物質之量使稱爲質量。兩物體間的吸力同兩物體的質量距離都有關係。牛頓萬有引力的定律，將這關係說得非常之清楚。他說兩物體間吸力之大小，與兩物體質量之積成正比，而與其間距離的平方成反比。假若以 $m_1$ 、 $m_2$ 表該物體的質量， $r$ 表兩體間的距離，那麼萬有引力的定律用公式表明，可以寫作

$$F = k^2 \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

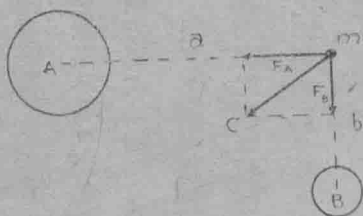
其中 $F$ 表引力， $k^2$ 表萬有引力之常數。假若一物體的質量爲 $B$ 。在地球表面。以 $E$ 表地球之質量， $R$ 表地球的半徑，那麼這物體的重量 $W$ 便是

$$W = k^2 \frac{Em}{R^2}$$

根據萬有引力的原理，我們便能將地球的質量同別的物體之質量相比較了。

假若某物體質量 $m$ ，受 $A, B$ 兩物體的吸引力。爲簡單起見，令 $Am$ 與 $Bm$ 直角相交。如果我們能量 $a$ 和 $b$ ， $Am$ 與 $Bm$ 距離，及 $A, B$ 對於 $m$ 吸引之合力與 $Am$ 線所成之角度 $X$ ，那麼 $A$ 與 $B$ 質量的比較，就很容易計得了。因爲

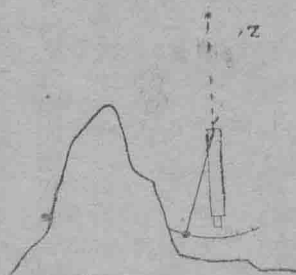
(圖四)



$$\tan X = \frac{F_B}{F_A} = \frac{k^2 \frac{Am}{a^2}}{k^2 \frac{Bm}{b^2}}, \quad \text{故} \quad \frac{A}{B} = \frac{a^2}{b^2} \tan X.$$

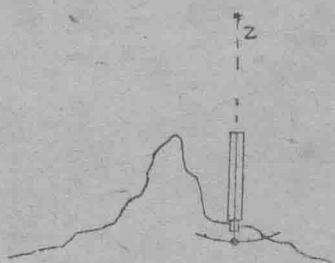
牛頓曾經討論到利用上述原理來求地球和大山質量的比較。但牛頓覺得實際測驗時，由於儀器之未精，必感到許多的困難。所以他自己并未實行測驗。等到

牛頓死後十年(1737)註(十四)法國人Bouguer在南美安底斯山上高峯之旁，實行這個計劃。他起先在山峯的南坡，測定鉛垂線所指天頂的位置。藉此便定了山峯與地球合力的方向，數日之後，他將測量儀器，向西遷移四哩。於是山峯的吸力，使鉛垂偏北的影響，極乎微弱。此時測定天頂的位置，同上次所得天頂位置之差，便是我們上文簡圖(圖四)中之 $\alpha$ 角了。



坡南之峯山在站測

(圖五)



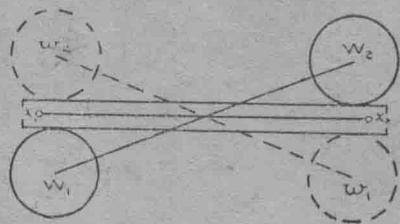
哩四西迤峰山在站測

註(十四) J.H. Poynting 著 The Earth. 第二章

Bouguer 所測得的  $\times$  角等於八秒。按他的計算，地球的密度應當比該山峯大十二倍。我們現在知道這數目實在是太大。但是這種工作，是破題兒第一遭。所獲的結果乃是與風雪困難搏鬥而得的勝利。不準確之處，應當爲後人所寬恕。他的功績是切實證明地球質量利用山峯法以測定之可能性。地球空心的僞說，從此立刻瓦解冰消。後來英國皇室天文家 Maskelyne 於西元 1774 年復用山峰方法，去測地球的質量。他的方法儀器地點，都比 Bouguer 所有的爲優。所得結果，當然要較爲準確。他斷定地球密度，約當山峯密度之  $1\frac{4}{5}$  倍。該山各部岩石的平均密度約爲水的兩倍半有奇。所以按這次測驗，地球密度應當約爲水的五倍。地球的總質量，可以他的體積和密度相乘便得。後來各種測驗地球質量的方法，所得結果，都證明 Maskelyne 的測量，是很爲準確。

藉山峯測地重，其精密的程度，總很有限。因山峰本身確實的質量就不易求得。而山峯的質量能影響到鉛垂者，到底以何處爲中心，也是無從確曉。牛頓所

提議測定地球質量的方法，除去利用山峯以外，還說可以利用人造巨球的質量和地球質量相比。當十八世紀的末年，牛頓的第二個提議也見諸實行。那時英國的



(六圖)

大化學家兼物理家Cavendish，利用一隻扭轉天平來作這個實驗。他所用儀器構造的大概，是在一長40寸金屬細絲之下，懸一條六尺長之橫棒。棒的兩端具有2吋直徑的鉛球 $X_1$ ， $X_2$ 。另外還有兩枚十二吋直徑重360磅的大鉛球 $W_1$ ， $W_2$ 。先是放在左圖所示的位置。觀測 $X_1$ ， $X_2$ 受吸引後移到的位置。然將大球搬動到 $W_1$ ， $W_2$ 的部位，再觀察 $X_1$ ， $X_2$ 此又被吸力扭轉後的位置。從此橫棒轉動的角度。可以知道，而 $\alpha$ 與 $W$ 間之引力 $P$ ，可依下式計得註(十五)

$$P = \frac{T^2 I \theta}{T^2 a}$$

註(十五) P. H. Poynting 著 The Earth, P67



其中  $I$  表扭轉部分之慣性轉矩， $T$  表橫棒之擺動週期， $s$  表橫棒長度之半。再以  $M$ ， $m$  表大球小球之質量， $r$  表大小球接近時兩球中心之距離。那麼大球與地球間之引力（即大球之重）

$$W = k^2 \frac{ME}{R^2} \quad \text{。大球與小球間之引力} \quad P = k^2 \frac{Mm}{r^2}$$

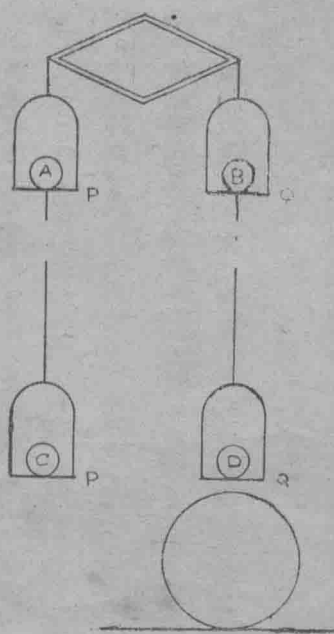
併這兩式便可得地球的質量

$$E = \frac{WR^3m}{Pd^2} = \frac{WR^3mT^2a}{d^2\pi^2I\Theta} \quad \text{。}$$

Cavendish 將 119 次實驗的結果平均起來，所得地球的比重等於 5.443。他的方法，後來屢經改良。所測得地球平均比重之值，都大約是 5.52。所以 Cavendish 椎輪草創的結果，稍嫌過低。

其實以上兩種量地的方法，都不十分直截了當。我們也很可以用尋常的天平

，來權衡地球的質量。結果頗為準確，而原理又是非常的簡明。初次應用此法來測地重者是德國 Von Jolly 教授。他在 1878 年做這個實驗，方法是用一隻天平，安置于一高塔之上。（圖七）。在天平兩盤的底下，用 21 米長繩，又繫上兩隻盤子



（圖七）

，這四個盤子上放了四隻等重等大的空心玻璃球 A, B, C, D, A, B 兩球裏，各灌入 5 磅的水銀。四個玻璃於是都封起口來。在此情形之下，天平當然可以平衡。以後

將 AC 兩球對調。因為左邊 5 磅的水銀，在此更動之下，趨近地球 21 米突。左盤的重增加了 21 毫克將 A 與 C 兩球放回原位，使恢復平衡。於是緊靠左盤之下用很多鉛

塊砌成個一米直徑的大鉛球。再把A,C對調，此時左盤重量的加增，較上次未有鉛球時又多了0.53毫克。這便是鉛球對於水銀的吸力。從鉛球中心到水銀球中心的距離約57cm。我們又知道水銀球與地心的距離是 $6.3 \times 10^8$  cm，而水銀的重是 $5 \times 10^6$  mgr。從這些已知數，地球質量為鉛球的若干倍，便可以很容易的算出來。按這計算，地球平均比重，約得5.69。von Jolly的誤差與Cavendish恰好相反。他的數值失之過大。後來英人Poynting和德人Richarz等，都會將von Jolly的方法加以改良，來測地球的質量。結果較佳。所得比重之值，都約在5.5左右。

### (6) 迴旋運轉

地球在空間的行動，假使吾人能翻孫悟空的筋雲，到半空裏俯視下界，可以看到他的舞蹈奔騰，真是極迴旋繞匝目眩神哈之觀註(十六)先是地球本身，就類似

註(十六)參看拙著萬古之奔波一文，載於國風第一卷第四號

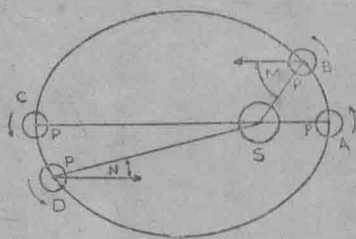
一隻大陀螺，在那裏旋轉不息。地球和太陰組成一系。所以地球繞着月地的公共重心有個行動。地球沿着橢圓軌道，繞太陽而作公轉，是我們所共曉的。除去自轉公轉之外，我們還要知道地球是太陽的附庸。他隨着太陽在各星間，追向織女奔馳。太陽和無數的恆星，在空間聚成一團，便是所謂銀河系。最近天文的研究曉得這圓餅式的銀河系也在那裏自轉。那麼渺小的地球自然是免不了也要隨波逐流的增加一種運動了。但是這些運動，從我們五官的直覺是無從曉得。文王的師粥熊曾說過『運轉亡已，天地密移，疇覺之哉』註(十七)可見地球的迴旋運動，并不是個新發明。五千年前的古人早已悟道了。

這種種的迴旋運轉，其中能影響到地面上的現象，還只是自轉公轉兩種。因為地球的自轉，所以有晝夜，所以有貿易風，所以有準確時刻的測定所以地球赤道區域總會比兩極較為隆起，所以航海者可以利用旋轉羅盤來測定方向。因為地

註(十七)見列子天瑞篇

球的公轉，我們所以有四季寒暑的更迭，晝夜長短的變換，所以恆星方位生光行差的推移。此等現象，通常天文地理的書籍，都有詳盡的說明。現在不多費辭。僅僅揀出幾點來，加以討論。

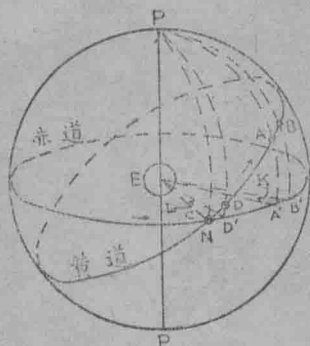
我們的晝夜，完全是受太陽的支配。我們的時刻却不可以完全根據太陽作標準。地球自轉的速度，可說是不變的，然而假若將一具走動非常準確的鐘，候太陽正南的時刻，撥到十二時正。明日正午，他的針又回到十二時。按道理說，應當以後每逢十二時太陽必在正南了。但是這種如意稱心的事是永遠不會有的。根本的毛病，便是因為地球近太陽時走得快，而離太陽遠時便走得慢的原故。設我們在地球上的P點。當地球在A（圖八），P點對着太陽，那時便是正午。等到次日P點對準太陽，那時地球已經走



(圖八)

到B處了。從圖中可見於前後兩次正午之間，地球共轉了一周 $360^{\circ}$ 。又M角。按相同的情形，於P點先後兩逢正午之間，地球公轉從C到D，自轉共 $360^{\circ}$ 又N角。因為地球公轉，在A B附近較快，而在C D附近較慢。所以M角較N角為大。從此可見，地球在A B時的一天（晝夜合計）較長於在C D處的一天了。

就令地球軌道作圓形，公轉的速率在一年之內毫無變更，我們仍然不能使鐘錶和太陽的行動，完全一致。這原因是由於地軸和地球軌道平面不相正交的緣故



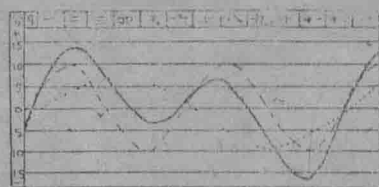
(九圖)

。(圖九) P P' 表示地軸，黃道表示太陽每年裏在列宿間經行的路線。赤道就代表地球的赤道平面無限展大，與天球相遇的痕跡。設地球上某處，前後兩次正午之間，太陽在黃道上的位置由A移到B。那時間地球共轉了 $360^{\circ}$ 又K角。當太陽由C至南

時，地球於連續兩次正午之間。共轉了 $360^\circ$ 又 $L$ 角。按地球等速公轉的假設， $AB$ 等於 $CD$ 。但是 $AB \equiv A'B$ ，幾成平行， $CD$ 和 $B'D'$ 間互相傾斜，所以 $K$ 角大於 $L$ 角。地球轉 $360^\circ + L$ 角，需時較轉 $360^\circ + K$ 角爲短。那麼當太陽在 $AB$ 處時一天的時間（晝夜合計）較長。當太陽在 $CD$ 處時一天的時間較短。

假設一個理想中的太陽，用均一的速度沿赤道走，而繞行一週所需的期間，與真太陽同。那麼這假太陽（也稱平太陽）的一天之長必定是恆等的。我們時鐘所給的時刻便是以假太陽作標準的。設真假太陽同從 $N$ 點，分途沿黃道赤道出發。而真太陽在黃道作等速運動。當在第一象限裏，假太陽常超越真太陽之前，第二象限，假太陽便常跟隨真太陽之後。第三象限裏，假太陽又是在前，第四象限裏，假太陽才又落後。實際上真太陽在黃道的行動，并非等速，上文裏已經提過，如果假太陽也在黃道上，而真假太陽同從黃道距地最近的那一點出發，那麼在首半周裏，假太陽要落於真太陽之後。在第二半周裏，假太陽便超出真太陽之前。

凡假太陽在真太陽之前時（即翹首南望假太陽在真太陽之東）鐘針過十二點之後太陽才抵正南。假太陽在真太陽之後時則反是。日晷所給我們的時刻，是真太陽時。要得鐘錶的平太陽時，應當在真太陽時上加一改正量。這改正量使稱作時差。假太陽時慢於真太陽時，時差是正號的。假太陽時快於真太陽時，時差便是負號的。時差的數值一年四季，時有變遷，但總不超過正負十六分鐘之範圍。從下圖（圖十）裏可以個別看出軌道偏心的時差及黃赤斜交的時差，以及二者總共的效果。



點線表偏心率所生之時差。  
虛線表黃赤交角所生之時差。  
實線表總時差。

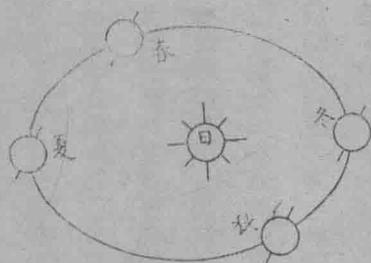
（圖十）

地球雖然有時遠日，有時近日，但是這微小的偏心率，對於寒暑的影響，渺乎其小。控制寒暑的要素，還是地球赤道和地球軌道兩個平面的傾斜。這兩平面



間的角度大約在  $23.5^\circ$  左右。地球繞太陽行動的時候，地軸的方向常是不改的。

我們就北半球講，當（圖十一）春秋兩位置，我們每日裏十二小時見太陽十二小時



（圖十一）

不見太陽。所以氣候比較溫和。但在夏至點的位置

，日光比較的直射到北半球的地面，而且每天裏被

太陽晒到的時候，總是超過十二時，所以氣候變成

酷熱。地球走到冬至點的情形，則正與此相反，所

以有嚴寒。由於夏天日地相去較遠，冬天相去較近

的緣故，冬夏寒暑的酷烈程度，都可稍為減輕一些

。但南北半球寒暑相反，所以對於南半球而言，地

球是冬天遠日，夏天近日，寒暑程度，因以格外加甚了。

照以上所講的，我們曉得太陽是不可以直接利用來較準鐘錶，因為太陽從正

南又到正南經過的時間，一年裏頭，是隨時稍有變換的。各恆星在天上相互的位

置，差不多是沒有變動。由於地球自轉快慢的均恆性，那麼恆星從正南到正南，其中經過的時間，必定是永遠相等。所以鐘的時刻，我們必須利用恆星的觀測來校準。至於平太陽時和恆星時的關係，到也甚為簡單。我們假若從外觀的現象而言，可以說一年之中，太陽繞地球走了 $365.2422$ 周，而恆星便已繞行 $366.2422$ 周。因此平太陽日之長和恆星日之長比起來，就等於 $365.2422$ 與 $366.2422$ 之比。

嚴格的講起來，地球自轉的快慢，也并不是恒古一律。這速度的改變，可以從日蝕研究出來。兩三千年前日食的記載，比較可靠者，也很有一些。這古代日蝕可見的時刻和地點，可以根據現在對於日月行動的知識，向前推算而得。但是事實上推算所得的日蝕和古代所紀的日蝕相比較，雖然可以無疑的斷定他們就是同一的日蝕，其間多總少有差池。據Cowell對於西元前763年Nineveh日食的研究，他說如果我們承認一晝夜之長，在每世紀內，增加了 $\frac{2}{100}$ 秒，那麼可以使推算的結果和古代的觀測更相接近。按W. de Sitter的研究註(十八)每世紀中每日的

增長

在1745年以前約爲0.0024秒

自1745—1870年 約爲0.0013秒

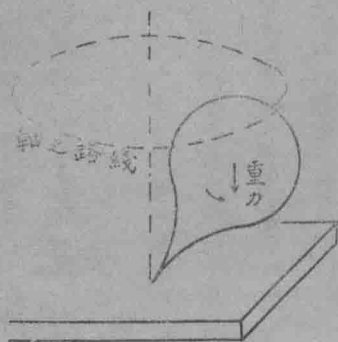
自1870年以後 約爲0.0037秒

從此我們可以曉得，地球的自轉，經久之後，也如同人的衰老。漸漸不濟，而弛緩下來。平均起來經過每一世紀，地球的自轉一天要慢 $\frac{1}{1000}$ 秒。這數目和月離平行的加速，也可以相融合。至於地球自轉，何以會漸呈弛緩之象，我們留待下節討論潮汐餘波時，再加以研究。

恆星日的標準，並不專憑某一恆星的觀測，乃按天球上黃道和赤道相交之一點，所謂春分點者。恆星年就是太陽從春分點，在天上列宿間繞了一周再回到春分點所經過的時間。恆星年比太陽從某恆星再回到某恆星的時間，稍爲短些。二

者者之差，我們便稱他作歲差。歲差直接的起原，是由於春分點在各星間，稍爲有點行動。當太陽將要回到春分點時，春分點是趨前迎接太陽。所以拿春分點作標準的恆星年，要比拿恆星作標準的恆星年較爲短些。

但是春分點又爲何要向前移呢。我們可以用陀螺作個比喻。實際上地球終古不息的在那裏自轉，豈不是很像個陀螺嗎。假若我們使這陀螺作反鐘針向的旋



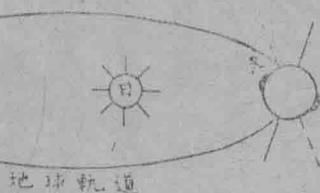
(圖十二)

轉，依(圖十二)中所示傾斜的方向排在棹面上。那麼這陀螺并不會被重力所拖倒，反而陀螺之軸會沿着圖中所示軸之路線而繞行畫出一個圓錐面，現在自轉之地球好比個陀螺。太陽對於地球赤道隆起部份吸引的傾向，要扳動地軸使與黃道平面相垂直。其結果却使地軸畫出一個圓錐面。當

地軸在那裏搖擺的時候，赤道自然的隨着也有移動。春分點本是黃道和赤道的交點。由於赤道的搖動，春分點的游移自不能免。歲差根本的起因，實由於此。

根據觀測來推算，地軸畫完一個圓錐，大約要二萬六千年。那麼從（圖十三）中我們可以看到一萬三千年後北半球的夏天是在近日的時候，冬天是在遠日的時候。那時嚴寒酷暑，都要比目前酷烈多了。但是一萬三千年是很長遠的時間，我們目下也無須乎作杞人的憂天了。

（圖十三）



由於上述歲差的現象，天上北極的位置并非固定的。目前的北極星，過了幾千年，就要漸漸的失去他的北極星之資格。要等二萬六千年之後才可以恢復他的特殊地位。地面上北極的位置是固定的還是移動的，也是個很有興趣的問題。天極的移動和歲差的現象，在二千多年前的依巴

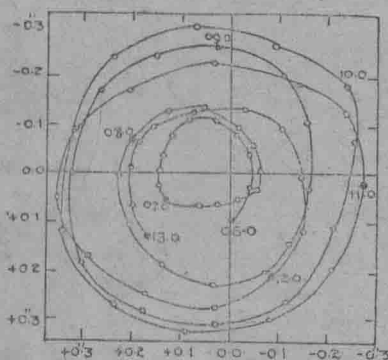
谷已經見到。註(十九)但是北極在地球表面的移動，從發現以至今日，才僅僅有四十多年。註(二十)這個事實，我們所能看到的只是一地方的緯度隨時變遷的現象。

一個地方緯度的測定，所量的本來是那個地方的鉛垂線，和地軸所成角度之餘角。因此緯度隨時的變遷，一方面固然可以由於地軸之游移而起，一方面也可以發生於重力（或鉛垂線）方向的改變。但是重力方向不會無故發生變動，而地軸的游移德國算學家 Bessel 早已從理論方面斷定其存在。而且計算他的週期大約在三百天左右。如果這是事實，很不難用觀測證明。因為在兩個經度相差  $180^\circ$  的天台，作緯度的測定，當地面北極向甲台移近時，甲台的緯度增加，而乙台的緯度必減少。在 1900 年，沿北緯  $39^\circ 8'$  有六個天文台聯合作長期不斷的緯度之測定。從這許多的證據，地極的游移，乃完全確定。這游移運動，分析起來，大概有二部

註(十九) Perry, A History of Astronomy P.52

註(二十) Russell, Astronomy P.117

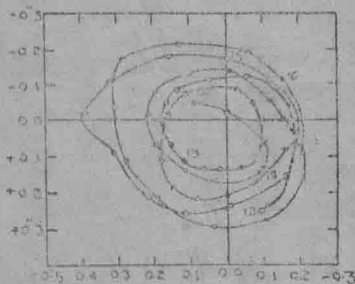
份。一作橢圓運動，長徑大約有 $30$ 呎。週期一年。一部份是圓運動，直徑約 $26$ 呎，周期 $33$ 天。一年週期運動的原因註(二十一)可以三件事實來解釋，(一)四季中



1906年至1913年北極位置之移

動路線

(圖十四)



1912年至1918年北極位置之移

動路線

(圖十五)

地面空氣分配之變遷，(二)冰雪之沉積(三)草木之榮枯。本來物體的轉動，和物

體各處質量分佈有密切的關係。上述三種原因都可使地面質量之分佈發生變化，而週期都是一年的。無怪乎他們對於地極的位置，有這種的影響。

這十四個月週期的來源又當如何解釋呢。Fisher所推算的十個月之週期，乃是把地球當作個剛體，而且假設地球的旋轉軸和橢球形的最短軸并不完全一致。但是從實測裏面尋不出這十個月的週期，而只有十四個月的週期。因此 Newcomb 等從事研究，結果發現週期的增長，是因為地球并非完全剛體的緣故。說到此地，我們有一點應加注意。便是地極遊移和歲差不同之點。在歲差裏所說的是天極之移動，乃是地球自轉軸在各星間所指位置之動搖。而地極之游移所說的乃是地球自轉軸與地面相交之點對於地面的移動。

從地質學者的觀點來說，凡這緯度變遷，自轉弛緩等等的現象，常常拿大陸對於地球內層相互的運動來解釋。他們的原則是在地球身上，不論外力如何之小，只要不斷的作用，便可生出很大的效果。但是天文家對他們的說法總不免抱懷



疑的態度。

(7) 潮汐餘波

從前有人討論太陽與月亮，二者孰為重要的問題。他說「月亮是比太陽重要。何以故呢。因為太陽當着白天出來，月亮當着黑夜出來。白天是亮的，雖無太陽仍可以見物。夜裏是黑的，苟無月亮我們便要在暗中摸索了。由此看來，月亮豈不是格外重要麼。

這當然的只是個笑話。假若我們一想白天的光亮，從何處來，太陰的光亮又從何處來；日月二九，孰為重要，那就不言而喻了。但是提起潮汐漲落的問題，月亮的重要，可就真正的比太陽大了一倍多。月亮對於潮汐的影響，可以很容易的看到。我們曉得潮水有時而漲有時而落。前後兩次高潮中間所經過的時間，平均說起來，等於  $24^h 51^m$ 。現在月亮從子午線回到子午線所需的平均時間，也於這個數目。這一點可以表示潮汐和太陰關係之密切。還有潮汐每天裏漲落的距程

，是隨時而有變換的。漲落距程最大的時期，總在朔望附近，乃成大潮。漲落距程最小的時期，總在上下弦前後，乃成小潮。這又是潮汐大陰密切關係之明徵。

最初拿萬有引力原理來解釋潮汐的現象者，便是數聖牛頓。註(二十二)當一七

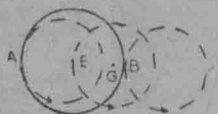
四〇年，巴黎科學社以潮汐理論的題目徵文。應徵而蒙錄取者，如 Euler, Mac laurin, Taniel Per ouilli 等，都是鼎鼎有名的大數理學家。他們的理論，假設一片大洋，包被在地球的外部。地球的轉動，乃是非常的緩慢。大洋面平衡的形狀，本當是個圓球形。由於太陰吸力的牽引，平衡的外狀，乃兩端隆起而作蛋形。這理論把海洋當個靜止的物體來討論，所以通常稱作潮汐的平衡說。註(二十三)

太陰的引力，何以能使海洋表面，兩端隆起，而成蛋形呢。其中的緣故，可以用很簡單的力學原理來說明。尋常我們說太陰繞着地球走，事實上并不完全如

註(11+12) Grant, History of Physical Astronomy P. 71

註(11+13) G. H. Darwin, The Tides, P. 57

此，乃是地球同太陰，都繞着他們的公共重心而轉。現在地球的重量，約等於太陰之80倍，所以從地球中心到這公共重心的距離，只有月球和這重心相距八十分之一。用概數表示，這重心和地心的距離約3000哩，和月球的距離約240,000哩。地球半徑約4000哩。重心的位置，實在地面以內。所以太陰繞地這句話，尋常也可以說得過去。但是在研究潮汐的時候，我們必須認清月球M（第16圖）和地球E都是繞着公共重心G，於27天內走了一周。凡物體沿着圓周而運動的時候，會有一種離心的力量。在一定週期的圓周運動裏，每磅物質所有的離心力與圓周之半徑成正比。現在地球繞G點作公轉時，地球體內各部分所經行的圓周路線和週期都是相等的。因此地球裏各處每磅物質



(圖十六)

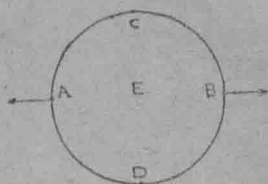
所有的離心力也完全相同。

這離心力所以不至於使地球遠離G點者，便是因為太陰的吸力，把他牽住。按萬有引力的定律，我們可以把地球和月球所有的物質，各壓縮成一點，放在E和M的位置，然後地球和月球間的引力便等於

地的質量×月的質量

月地間距離之平方

當然的地球離心力的量和月球引地之力，必定彼此平衡。不然月地間的距離，便要還漸增加，或逐漸減少了。所以地球裏每磅物質所有的離心力，和月球對於地球每磅物質引力之平均值是相等的。但實際上，假使地球上這一磅的物質與月球相距小於E點者，月球對他的引力，超過於平均值。反之，這磅物質與月球相距大於E點者，月球對他的引力，便低於平均值。因此地球中每磅物質，在E點的（第17圖）離心力與月的吸力，二者恰好相消。在B點，引力大於離心力，



(圖十七)

出隆起。

現在既把太陰與潮的原理說明，那麼我們所習見的

的潮汐現象，便很容易解釋了。下圖(18)裏，E表

地，M表月EP表地軸，I表海洋上的一島。圖裏有

影線的區域，便表示海洋的橫斷面。當海島隨地球轉

到A處，便遇高潮。再轉90°。乃有低潮。轉到B處，

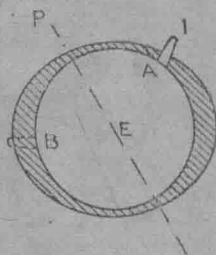
結果有個外向之力。在A點，離心力大於引力，結果也是個外向之力。這個力量在C、D附近逐漸消滅。我們在上文裏曾經說過，地球自轉

的離心力，可以使赤道一周隆

起。按相似的道理，太陰的興

潮力，也可以使地面之水，在

向月的和背月的兩區域裏，生

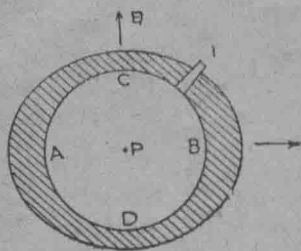


(圖十八)

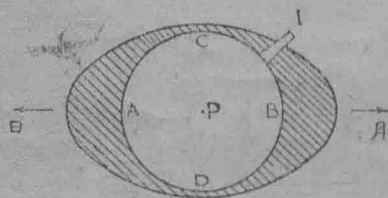
(M)

又遇高潮。然後再經一次的低潮纔回到出發點A。一晝夜之間，尋常必有兩次高潮兩次低潮的原因，觀此便可以恍然了。

月亮的引力，可以生潮。太陽的引力，當然也可以有同樣效果。太陽質量雖大，但是因為距地之遠，他的興潮力同月亮比起來，只有 $\frac{1}{3600}$ 之比。朔望的大潮和上下弦時的小潮，也就是由於太陽的生潮力之關係。(19)(20)兩圖裏P點表示地



(圖二十)



(圖十九)

球的北極。常潮或者望的時候，月亮的吸力可以使A和B處的海面發生隆起。而太陽的生潮力，也同時作用於這兩處。因此A、B處的海面要比C、D處海面高出許多。當地球自轉起來，島邊的潮

水，便有了很大的漲落，而見着大潮的現象。逢上下弦的時候，太陽的方位和太陰的方位相去 $90^\circ$ 。其情形有如圖(20)裏面所示。太陰的生潮力要使海面於A, B兩處隆起。而太陽的生潮力要使海面在C, D兩處隆起。兩方的力量，互相消除。結果因為月亮生潮力比較的大些，所以A, B處的海面，比C, D處只能略為高些。於是潮汐漲落的變更很小，便呈小潮的現象。

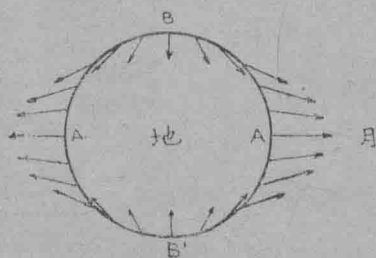
潮汐平衡說的大略就是如此。原理到甚簡單，然而許多地方與事實相去過遠。固然這是因為地面的海洋，受有大陸的障礙，非如我們假設遍地皆海那樣的簡單。其中也有實在是由於平衡說自身的缺點。譬如朔望時的高潮，按平衡說應在正午及半夜發生，而事實上常有在早晚六時的。所以後來又有潮汐波動說繼之而起。牛頓已經看到波動學說，可以補救平衡學說之窮。法天算家拉伯拉斯(Laplace)更加以精深的探討。至於潮汐磨擦，對於地球各種的影響，經達爾文(Sir George H. Darwin, 倡天演論的達爾文之哲嗣)窮源竟委的研究，乃獲大明。

現在先將波動說的概略，敘述於下。（註二十四）

要使這問題的情形，變成簡單，我們只討論由於

月亮所生的潮汐，而且假設太陽繞地軌道的平面和地球赤道相同。我們又將地面雜亂無章的海洋暫時變為圍繞赤道左近的大河，深淺約在三四里之譜。如此一來，月亮生潮力在赤道各部的情形，不難計算出來。倘若我們畫箭頭，表示這月亮生潮之力，我們便可得到下圖

（圖二十一）

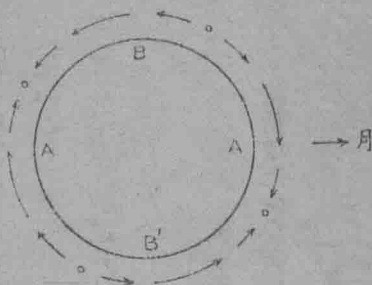


這一點波動說和平衡說是相同的。但是從此之後，波動說的特點，便嶄露他的頭角了。波動說把海洋當作流動物質，用動力學的方法來研究潮汐。他說這生潮力可以分析為兩部份。一部份與地面垂直，一部份與地面平行。與地面相垂直的

註(二十四) Poynting, The Earth, P. 117, & Parwin, The Tides, P. 170



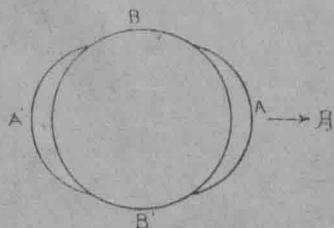
(圖二十二)



分力，他的效果，無非使海洋裏各水滴的重量，略有輕重的變更，對於潮汐的形成，尙無巨大影響。至於與地面平行的分力我，們也可以用個箭頭（簡圖23）來表示他。這部份的生潮力可以使海洋的水，順着箭頭方向移動。因此海洋的水，便聚集於地球赤道上A,A'兩處。這兩處的水面，便隆起，而B和B'兩

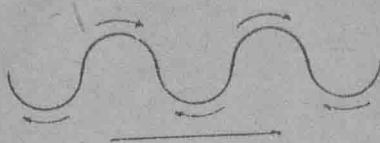
部份的水面，便要降低。於是赤道河面從圓形而變為橢圓形了。圖（23）

(圖二十三)



若使地球自轉的週期，等於月球繞地的期間，那麼我們的海面，便要亘古的在對月背月兩部份，呈隆起的狀態了。但是實際上，地球自轉的週期，不是27天而是23小

時。這隆起的部份，對於地球本體，於是有了相對的移動。如此看起來這水面起伏，豈不是赤道運河裡，兩個大波浪麼？赤道一周約25,000哩。這波頂的位置，從月亮之下再回到月亮之下，約需25小時。那麼這大波浪在地面行動的速率，每

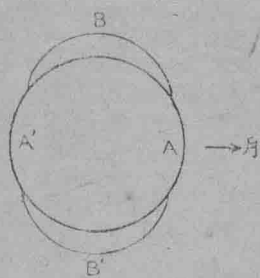


(圖二十四)

小時約有1000哩了。河裡波浪的速度，在流體力學方面，是曾經有透澈的研究。我們知道假使運河裡，由於某種原因生出波浪，這波浪會自然的繼續不斷地前進。他的原動力，便是波浪本身的形勢，使之向波頂兩面下壓。註(二十五)而當波浪前進之頃，波頂水點運動，與波浪進行之向相同，波谷水點的運動，便與波浪進行的方向相反。若使波浪的波長甚大，他的進行速度，與河身的深淺，就很有關係。河身淺波行便速。河身深波行便緩，現在潮汐波浪的波長是12500哩，可

註(二十五)Müller-Pouillet's, Lehrbuch der Physik, Physik der Erde, P. 325

算是很長的波浪了。據流體力學的計算，假若運河深度，果然是13哩或14哩，那河面波浪便可達到每小時1000哩左右之速度。事實上海洋深度，平均不到這個數



(圖二十五)

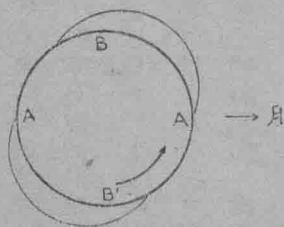
值。任其自然時，潮波的速度，到不了每小時1000哩。波浪繞行地球半週，需時不止半日，現在竟能如此之快，其中是因為有月亮生潮力幫助。我們將生潮力的沿地平方向分力（圖25）稍加研究，便可看到當波頂行到B、B'兩處時（25圖），月亮的生潮力與波頂的壓力是可以相生的。所以潮波進行速度如此其快時，水面隆起的部分，應當駐於B、B'處，而反不在A和A'處。

波頂位置，從A、A'的地方，而轉變到B、B'地方的道理，也可用擺的譬喻來說明。假若我們將一個三呎長的擺懸掛起來，聽他自由振動。他從左擺到右，或者從右擺到左，大約需一秒的時間。這好比河中的波浪，任其自然時有一定的週

期。現在將這擺拿在手裏，同時將手左右搖動。於是我們手的力量，就好比作太陰的生潮力。經驗告訴我們，若是手的來回搖動，慢於擺的自由振動，那麼擺動的方向，便與手動的方向相同。若是擺的自由振動慢於手的搖動，那麼擺動的方向，便與手上用力的方向相反。現在生潮力的變動，既比自然波動為快；所以應生高潮的地方，反有低潮。應有低潮的地方，反而起高潮了。

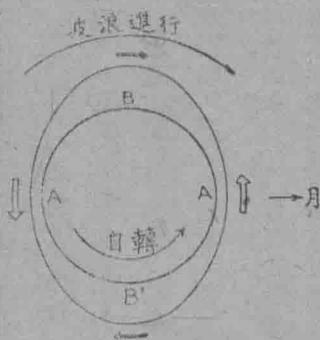
波動說的這個結論，和事實也不相合。因為據我們的經驗，高潮的到臨，和月亮中天的時刻，並沒有差到六小時之多。然而波動說并不就此而已，他還顧到海水和地球表面的摩擦。他說這摩擦力的影響足以使波頂從B、B'兩處移到AB之間和A'B'之間。註(二十六)結果有如圖(26)所示。於是根據此說高潮的到臨便可

(圖二十六)



註(二十六) J. H. Poynting, The Earthy P. 127

在月亮中天不久之後，與實測稍能融洽。至於其中的理由，為什麼摩擦可以使波頂前移，當然的要等流體力學來說明。但是我們用粗淺的圖示，也可以略為表明一些其中的道理。波動說其初所以斷定波頂取要B'B'的位置者，無非是由於沿地面方

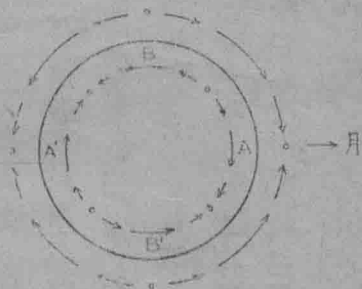


(圖二十七)

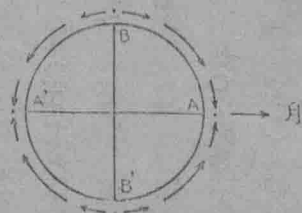
向而作用於海水的外力是依照圖(23)的情形。現在我們曉得，地面與水間的摩擦力，也是一種沿着地面的外力；而摩擦的趨向，沿和水點運動的趨向相反。依圖(24)所示的原理我們知道當波頂在B'B'時(圖25)波頂部分水點進行之方向，是依照粗黑箭頭所表示的，而波谷部份水點行動的方向，是如同空心箭頭所標明的。從此，摩擦力之方向問題，可以完全解決。在圖(28)中，圓圈外之箭頭，表示潮力地平方向之分力，圓圈內之箭頭，則表示摩擦力之情形。圖(29)便表示這兩種外力合併起來的結果。

因為外力有(22)圖的情形，所以波頂就駐在 $B_1$ 和 $B_2$ 兩處。(圖25)現在由於摩擦的效用，外力情形變成如圖(29)所示。那麼兩相比較之下，可知波頂的位置，無疑的便要移到 $AA_1$ 間和 $BB_1$ 間了。圖(26)

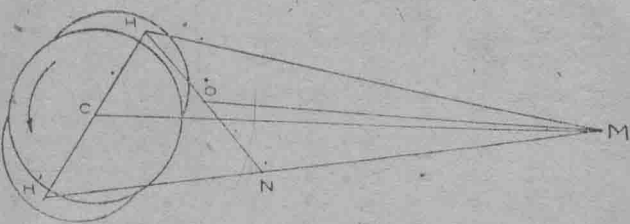
如果潮汐的隆起，集中於 $A, A_1$ 兩處或 $B, B_1$ 兩處，地球自轉的速率，或者還不至於蒙受多大的影響。但隆起部份位於 $AB$ 間和 $A_1B_1$ 間，那情形却又不同了。今日表 $AB$ 間的潮(圖30)正表 $A_1B_1$ 間的潮。 $M$ 表月亮。因為地球幾乎是圓球形，太陰對於地球的總吸力，無疑的必要通過地心 $C$ 。太陰對於 $H$ 和 $H'$ 之總吸力，又



(圖二十八)



(圖二十九)



(圖三十)

是如何呢。我們聯起  $HMH'$  三角形來。若使太陰吸  $H$  之力和吸  $H'$  之力，二者相比，等於  $MH$  長和  $MH'$  長之比；那麼我們依照力學中合力的原理，可以知道這兩個吸力的總和，是可以穿過  $C$  點的。但是我們曾說過，吸力是同距離之平方成反比例的。現在圖 (30) 裏， $MH$  之距比  $MH'$  大。那就是月亮間  $H$  之力不及月亮吸  $H'$  之力那樣大。因此我們可於  $MH'$  間取  $N$  點使  $MN$  比  $MH$  等於  $M$  吸  $H$  和兩  $H'$  力的總和，要經過  $HN$  之中點  $O$ ；而并不通過地心  $C$ 。(因  $OC$  平行於  $MH'$  而不平行於  $MO$ )。所以這力可使地球對於他的中心作順鐘針向的迴轉。然而按圖 (30) 中的情形，地球本來的自轉，是反鐘針向的。

那麼月亮吸引日和月，豈不是使地球的自轉，逐漸弛緩下來嗎。這種現象，從古代日月蝕的研究，果然獲有證明。迴旋運轉一章裏談到地球自轉時曾經提過了。

因為月亮吸引潮汐的力，不經過地心，地球受他的牽掣，便漸漸運轉不靈。

我們知道牛頓第三動律說的是每一動力必有一個大小相等方向相反的反動力之存在。可知地球對於月亮也是不肯輕易饒過的。潮汐日和月對月亮，也有一個相等的吸力，不過這力的方向和月亮吸引潮汐力量的方向正相反罷了。現在潮汐引太陰的力，可以按分力的原理，分解成 $MC$ 和 $MD$ 方向的兩分力。 $MC$ 一力是向着地心。他和太陰繞地公轉的離心力，可相抵消；對於太陰的軌道，尙無影響。但 $MD$ 那一分力，恰好是順着太陰繞地而馳的方向。其結果一則使太陰的速率加快，再則使太陰的軌道增大。從此可見潮汐在地球和太陰的系統裏，有雙管齊下的手段。一面既隨時牽掣地球的自轉，



(圖三十一)



使他衰老弛緩；另一面又逼着太陰奔馳，使他的軌道，不斷的伸展。天地何嘗不也如同人事一般，終日裏在那裏變遷演化。逝者如斯，不獨流水爲然，便是地球和太陰諸大的系統，也難逃這個劫數。明日的地球和太陰的情狀，便和今天不同。今天的地球和太陰之情狀，又與昨日有別。我們何幸處於現在這裏。循這一點的線索，略加推求便可領悟地球和太陰的過去未來了。

潮汐摩擦的效果，可以使月亮同地球的距離逐漸增加，我們既然知道了。若是向上追溯，在許多年代之前，那時太陰必定是很靠近地球的。那時地球自轉較現在爲快，而且月球繞地一周的時間也較短。那麼再推上去，在若干萬年前，月亮豈不是要和地球互相接壤，或者月亮自身竟是從地球本體分裂出來的，也說不定呢。但是這種太陰降生的假說，似乎有一個困難之點。因爲當太陰從地球母體分裂出來時候，他必仍然是流動體。據攝動原理的研究，一個液體的衛星和主星相距稍遠的時候主星對於衛星，有生成潮汐的影響。若是距離減少，主星對於衛

星之生潮力量，增大非常。當主星衛星的距離小於主星半徑 $2\frac{1}{2}$ 倍時，（假若主衛二星密度相同），那時生潮力之大，便足以將衛星扯裂破碎。這個界限，通常稱為駱幾界限（Roche limit）現在說到本題。如果月亮是從地球身上分裂出來，那麼當初生之頃，月亮位置，不免要在駱幾界限之裏，豈不要即時分崩離析，那能保持他的團圓一輪直到如今呢。

這個困難的地方，達爾文利用力學上共振（Resonance）的原理來應付。按他的說法，太陰一離開地球之初，便已落到駱幾限度以外，因此避過了碎骨粉身的災難。共振原理，又是什麼樣。我們可以拿戲鞦韆來作譬喻。（註二十七）假若我們將鞦韆一推之後便置之不理。那麼這鞦韆會按着一定的週期搖擺，經過一些時候，因為受空氣摩擦之阻礙，終於停止。若是當鞦韆動搖之頃，我們並不離開。等着每次鞦韆擺近我們前面，便稍為用力把他一推；其結果可使鞦韆的擺幅，累

註（二十七）H. Jefferys, The Earth, P. 37

次加大，幾乎沒有止境。由於外力的週期與一物體本身振動的週期相等，使振幅無窮加大，如同上文所舉的實例者，都稱作共振現象。

從我們所已知的地球和太陰個別所有轉動之量，我們能計算當太陰與地球合成一體時，地球自轉週期之長短若何。按這種計算的結果，那時地球自轉週期，約爲四小時。一個旋轉的球體，具一種固有的平衡形狀。若是外方在旋轉軸的向方，加以壓逼或牽引，那麼這球自然的在兩極方向，就起了離合的振動，在赤道的區域，就起了漲縮的振動。這情形也很像一推鞦韆他就擺動似的。鞦韆擺動的快慢，和繫繩之長短，有密切關係。而這球體振動的自然週期，也可從他的大小和質量計算出來。像地球這般的物體，他振動自然週期，計算出來恰等於兩小時。我們上文曾說過，太陽是同月亮一般的具有生潮之力；而潮汐的週期有半日一次者。當這月地一體的遼古時代，一晝夜之長纔等於四小時。所以每半日一次的生潮力，他的週期便是兩小時，和地球振動自然週期

便生成了。

封

面

二